

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 37 23 844 A 1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**B23K 9/12**  
B 23 K 37/02

②① Aktenzeichen: P 37 23 844.2  
②② Anmeldetag: 18. 7. 87  
④③ Offenlegungstag: 26. 1. 89

VERPÄTET  
VOM  
DEUTSCHEN PATENTAMT  
AM 26. JANUAR 1989

DE 37 23 844 A 1

⑦① Anmelder:  
Fried. Krupp GmbH, 4300 Essen, DE

⑦② Erfinder:  
Hangmann, Norbert, 4330 Mülheim, DE; Trösken,  
Friedhelm, Dr., 4630 Bochum, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Steuerung eines Schweißbrenners beim Bahnschweißen, zum Suchen und Verfolgen einer Schweißfuge mit Abstandskontrolle zum Blech

Es wird eine Vorrichtung zur Steuerung eines Schweißbrenners beim Bahnschweißen, zum Suchen und Verfolgen einer Schweißfuge mit Abstandskontrolle zum Blech beschrieben. Die Vorrichtung für das Suchen und Verfolgen der Schweißfuge sowie für die Kontrolle des Abstandes der Gasdüse des Schweißbrenners vom Blech besteht aus nur einem Sensor mit nachgeschalteter Elektronik.

DE 37 23 844 A 1

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Steuerung eines Schweißbrenners beim Bahnschweißen, zum Suchen und Verfolgen einer Schweißfuge mit Abstandskontrolle zum Blech, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung für das Suchen und Verfolgen der Schweißfuge sowie für die Kontrolle des Abstandes der Gasdüse des Schweißbrenners von Blech nur einen einzigen Sensor mit nachgeschalteter Elektronik aufweist. 5 10
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein Magnetsystem ist, das mit mindestens vier Spulen konzentrisch um das äußere Ende der Gasdüse des Schweißbrenners angeordnet ist. 15
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Spulenpaar aus zwei gegenüberliegenden Spulen des Magnetsystems, die gleichsinnig in Serie geschaltet sind, von hochfrequentem Wechselstrom durchflossen wird, und daß in einem zweiten Spulenpaar aus zwei gegenüberliegenden Spulen, die gleichsinnig oder gegensinnig in Serie geschaltet sind, dadurch ein Strom induziert wird. 20
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß umschaltbar ein beliebiges Spulenpaar aus zwei gegenüberliegenden Spulen des Magnetsystems, die gleichsinnig in Serie geschaltet sind, als Erregerspulenpaar und ein anderes beliebiges Spulenpaar des Magnetsystems aus zwei gegenüberliegenden Spulen als Induktionsspulenpaar gewählt werden kann. 25 30
5. Vorrichtung nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß das jeweilige Induktionsspulenpaar aus zwei gegenüberliegenden Spulen des Magnetsystems wahlweise gleichsinnig oder gegensinnig in Serie geschaltet werden kann. 35
6. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in der Elektronik der Steuerung aus der induzierten Spannung bei gleichsinnig in Serie geschalteten Induktionsspulen mit Hilfe einer gespeicherten Kennlinie eine Spannung abgeleitet wird, die dem Abstand der Schweißdüse von der Blechoberfläche proportional ist. 40 45
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Kennlinien für verschiedene Aufgaben gespeichert werden können.
8. Vorrichtung nach den Ansprüchen 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik der Steuerung Sollwerte für den Abstand der Gasdüse des Schweißbrenners von der Blechoberfläche speichert und ein Stellsignal zur Abstandskorrektur erzeugt. 50
9. Vorrichtung nach den Ansprüchen 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktionsspannung der gegensinnig geschalteten Spulen des Induktionsspulenpaares mit einer dem erregenden Wechselfeld proportionalen Spannung in einem Lock-in-Verstärker verglichen wird und daraus ein Stellsignal zur Führung der Gasdüse über der Fugenmitte abgeleitet wird. 55 60
10. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Auswahl von mindestens zwei Spulen von zwei Spulenpaaren aus jeweils zwei gegenüberliegenden Spulen der konzentrisch angeordneten Spulen des Magnetsystems so geschaltet ist, daß die Spulen auf jeweils einer

Seite einer ausgewählten Symmetrieachse der Anordnung der ausgewählten Spulen gleich und auf verschiedenen Seiten der Symmetrieachse entgegengesetzt gepolt sind und von einem Strom zur Ablenkung des Lichtbogens des Schweißbrenners durchflossen werden.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß beliebige Spulenpaare des Magnetsystems ausgewählt werden können.

12. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik der Steuerung einen Stellwert liefert, um den Schweißbrenner fugenmittig zu führen, wenn der Schweißstrom bei gleich großen aber entgegengesetzt gerichteten Auslenkungen des Lichtbogens verschieden ist.

13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik in Abhängigkeit von der Kennlinie des Lichtbogens einen Stellwert liefert, um die Schweißdüse im richtigen Abstand von der Naht zu halten, wenn der niedrigste Lichtbogenstrom über dem Auslenkungsbereich über der Schweißfuge nicht mit dem vorgegebenen Sollwert übereinstimmt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik die Lichtbogenkennlinien für die verschiedenen Aufgaben speichert.

15. Vorrichtung nach den Ansprüchen 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik die Abstandssollwerte für verschiedene Aufgaben speichert.

16. Verfahren zur Steuerung eines Schweißbrenners beim Bahnschweißen, zum Suchen und Verfolgen einer Schweißfuge mit Abstandskontrolle zum Blech, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Steuerung nach den Ansprüchen 1 bis 15 sich zuerst die Schweißdüse nach den Ansprüchen 6 bis 8 auf Sollabstand einstellt, sich als nächstes nach Anspruch 9 in vorgegebener Richtung auf die Fuge bewegt und auf die Fugenmitte einstellt und daß sich schließlich nach den Ansprüchen 10 bis 15 der Schweißbrenner beim Schweißen im Sollabstand über der Fugenmitte hält.

## Beschreibung

Beim automatisierten Bahnschweißen mit einem Industrieroboter erweist sich die Führung des Lichtbogens entlang der Schweißfuge als zentrales Problem. Verantwortlich hierfür sind die geometrischen Abweichungen zwischen dem realen Schweißfugenverlauf und der programmierten Bahn. Die Ursachen sind: Bauteiltoleranzen, Verzug der zu fügenden Bauteile durch Wärmeeinbringung beim Schweißen, ungenaues Spannen der Werkstücke und die nicht exakte Programmierung der Schweißbahn. Qualitätseinbußen aufgrund der obengenannten Einflüsse stellen eine automatische Fertigung in Frage.

Mit Robotern ohne Nahtsuch- bzw. Nahtverfolgungssysteme lassen sich diese Probleme teilweise lösen, wenn die Bauteile von der Vorfertigung mit der notwendigen Genauigkeit hergestellt werden und die zu fügenden Werkstücke exakt positioniert werden.

In vielen Fällen ist eine ausreichend genaue Werkstückvorfertigung und Werkstückpositionierung jedoch nicht möglich bzw. wirtschaftlich. Deshalb wird mit einer entsprechenden Sensorik den veränderlichen Um-

gebungsbedingungen des Schweißroboters Rechnung getragen werden. Hierbei wird in der Regel wie folgt vorgegangen:

1. Nahtanfangssuche und Korrektur der relevanten programmierten Positionsdaten und
2. Nahtverfolgung in Echtzeit.

Für diese beiden Aufgaben sind der induktive Sensor und der sogenannte Lichtbogensensor bereits seit längerem als separate Systeme am Markt erhältlich. Sie sind jedoch nur in der Weise zu einem Nahtsuch-/Nahtverfolgungssystem zu kombinieren, daß

- mit dem induktiven Sensor der Nahtanfang gesucht wird und anschließend der Schweißbrenner mit Lichtbogensensor vom vorher gesuchten Nahtanfangspunkt aus während des Schweißens automatisch entlang der Naht geführt wird (Nachteile: größere Nebenzeit, Platzbedarf für den induktiven Sensor)
- vor dem Schweißen eine Suchfahrt mit einem induktiven Sensor durchgeführt wird und anschließend der Schweißbrenner der korrigierten Bahn entlangfährt (Nachteile: größere Nebenzeit, Platzbedarf für den induktiven Sensor)
- ein induktiver Sensor dem Schweißbrenner vorläuft (Nachteile: sperrige Anordnung, Die Achse Schweißbrenner/Sensor muß mit der Richtung der Schweißnaht übereinstimmen, wenn keine Vorlaufkompensation erfolgt.)

Darüber hinaus gibt es kommerzielle Systeme, die zur Nahtanfangssuche einen taktilen Sensor verwenden. Dies ist zum einen ein ausfahrbarer Taster, der bei Berührung mit dem Werkstück einen Schaltkontakt auslöst, zum anderen kann die Elektrodenspitze selbst oder die Gasdüse als Taster benutzt werden.

Aufgabe der Erfindung ist daher eine Steuerung, die nur aus einem Sensor und nachgeschalteter Elektronik besteht, und für das Suchen und Verfolgen der Schweißnaht sowie für das Abstandhalten eingesetzt wird.

Diese Aufgabe wird mit einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst.

Die Steuerung hat erfindungsgemäß nur einen Sensor mit nachgeschalteter Elektronik und ist umschaltbar für das Suchen und Verfolgen der Schweißfuge sowie für die Abstandsmessung.

Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung besteht der Sensor aus einem Magnetsystem, das mit mindestens vier Spulen in gleichem Abstand konzentrisch um das äußere Ende der Gasdüse des Schweißbrenners angeordnet ist.

Für die Nahtsuche wird dieser Sensor als induktiver Sensor betrieben.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich durch Verwendung der Merkmale der weiteren Unteransprüche.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes dargestellt, und zwar zeigt

Fig. 1 die schematische Darstellung des Sensors im Längsschnitt I-I über einer Schweißfuge,

Fig. 2 den Sensor im Querschnitt II-II und

Fig. 3 die schematische Darstellung des Erfindungsgegenstandes.

Fig. 1 zeigt den Sensor im Längsschnitt seitlich versetzt über der Schweißfuge 7 der Bleche 5. Der Sensor besteht aus einem weichmagnetischen Ring mit vier

Magnetjochen 6, wobei auf den Magnetjochen die Spulen 1 bis 4 sitzen. Die Spule 2 ist im Längsschnitt nicht dargestellt.  $\Phi$  bezeichnet den Magnetfluß außerhalb,  $\Phi$  innerhalb des Weicheisens.

Fig. 2 zeigt das Magnetsystem 6 im Querschnitt II-II. Der Schnitt I-I ist in Fig. 1 dargestellt. Die Linien 7 geben die Lage der Schweißfuge an. Die eingezeichneten Feldlinien der Magnetflüsse  $\Phi 23$ ,  $\Phi 21$ ,  $\Phi 43$ ,  $\Phi 41$  deuten die Feldverteilung zwischen den Polen an, wenn die Spulen 2 und 4 die Erregerspulen und 1 und 3 die Induktionsspulen sind und das Magnetsystem wie gezeichnet sich seitlich versetzt über der Schweißfuge 7 befindet.

Fig. 3 zeigt das Blockschaltbild eines Beispiels des Erfindungsgegenstandes. Die Schweißrobotersteuerung 1 wird von der erfindungsgemäßen Vorrichtung gesteuert. Diese besteht aus dem Spulensystem 26 der Spulenschalteinheit 7, die die Spulen entsprechend den jeweiligen Anforderungen mit der Auswerteeinheit 2 und den Erregereinheiten 3 und 5 verbindet, dem Schalter 4, der die verschiedenen Einheiten von Nahtsuchen auf Nahtverfolgen mit gezündetem Schweißbrenner umschaltet, den Erregereinheiten 3 und 5 und den Auswerteeinheiten 2 und 6. Bei kaltem Brenner werden ein Teil der Spulen über die Verbindung 23 von der Erregereinheit 3 mit Wechselstrom versorgt. In dem anderen Teil der Spulen wird dadurch eine Spannung induziert, die in der Auswerteeinheit 2 entweder ein Signal über die Verbindung 14 zur Abstandssteuerung an die Robotersteuerung abgibt oder über die Verbindung 15 ein Signal zur Ansteuerung der Fugenmitte abgibt. Bei gezündetem Brenner versorgt die Erregereinheit 5 über die Verbindung 25 die Spulen mit Wechselstrom. Die dadurch bedingte Ablenkung des Lichtbogens hat entsprechende Schwankungen des Lichtbogenstroms zur Folge, die der Auswerteeinheit 6 über die Verbindung 13 eingegeben werden. Die Auswertung in dieser Einheit erzeugt Steuerkorrektursignale zur Erreichung des richtigen Abstandes und der Fugenmitte, die über die Verbindung 17 und die Verbindung 18 an die Robotersteuerung gegeben werden. Über die Eingabe 8 und die Eingabe 11 wird den Auswerteeinheiten der Sollabstand vorgegeben, über die Eingabe 9 wird der Robotersteuerung die Bewegungsrichtung zur Fuge eingegeben. Mit der Eingabe 10 wird der Auswerteeinheit und der Spulenschalteinheit angegeben, ob die richtige Höhe oder die Fugenmitte gesucht werden sollen, über die Eingabe 12 schließlich wird der Auswerteeinheit 6 die Stromkennlinie des Schweißbrenners angegeben.

Die Form der Pole nach Fig. 1 wird durch zwei Kriterien bestimmt:

1. Zum Betrieb des Sensors als Nahtsuchsystem muß das zwischen den Polen aufgebaute Magnetfeld durch das Werkstück gedämpft werden. Das bedeutet, daß die Feldlinien eine Komponente vertikal zum Blech haben müssen.
2. Zum Betrieb des Sensors als Nahtverfolgungssystem muß der sich mittig zwischen den Polen befindliche Lichtbogen ausgelenkt werden. Dazu muß das Magnetfeld dort eine Komponente in horizontaler Richtung haben.

Zum Schweißnahtsuchen wird der Sensor 6 als induktiv arbeitendes System betrieben. Dazu werden z. B. die Spulen 2 und 4 gleichsinnig in Serie geschaltet und von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen.

Die dann in den Spulen 1 und 3 induzierten Spannungen

gen werden von der Topografie und dem Abstand des unter dem Sensor liegenden Werkstückes beeinflusst, weil das zwischen den Magnetjochen aufgebaute magnetische Wechselfeld durch im Werkstück induzierte Wirbelströme bedämpft wird. Die Dämpfung ist neben dem Abstand und der lokalen Geometrie des Werkstückes auch von den Werkstoffparametern wie magnetische Permeabilität und elektrische Leitfähigkeit abhängig.

Eine Abstandsmessung mit dem beschriebenen Sensor ist allgemein nur bei ebenen Werkstücken möglich. In diesem Fall sind die Flußanteile aller Spulen immer gleich und ihre Summe ist also somit nur noch abstandsabhängig. Für jede Schweißaufgabe ist der Abstand der Gasdüse des Schweißbrenners von der Blechoberfläche eine Funktion der induzierten Spannung. In einer dem Sensor nachgeschalteten Elektronik wird mit Hilfe der entsprechenden Kennlinie die induzierte Spannung in eine Spannung umgesetzt, die zum Abstand proportional ist.

In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Steuerung können verschiedene Kennlinien gespeichert werden und Sollwerte für den Abstand vorgegeben und gespeichert werden. Weicht der Istwert vom Sollwert ab, so stellt die Steuerung einen Stellwert zur Abstandskorrektur zur Verfügung.

In Fig. 1 und 2 befindet sich der Sensor der Steuerung seitlich versetzt über einer Schweißfuge. In dieser Lage sind die Magnetflüsse am Magnetsystem 6 nicht mehr symmetrisch. Werden die Induktionsspulen, in unserem Beispiel die Spulen 1 und 3, gegensinnig in Serie geschaltet, so ist die resultierende induzierte Spannung ein Maß für die Unsymmetrie. Über der Fugenmitte ist das magnetische Feld wieder symmetrisch. In einer dem Sensor nachgeschalteten Elektronik wird die induzierte Spannung einem Lock-in-Verstärker zugeführt. Referenzseitig wird eine dem magnetischen Wechselfeld proportionale Spannung in den Lock-in-Verstärker eingespeist. Nach Kompensation des sich zwischen Erreger- und Meßspulen ausbildenden konstanten Phasen-Offsets erhält man am Ausgang des Lock-in-Verstärkers über die Fugenbreite ein Signal, das die Form einer Sinuswelle hat. Der Nulldurchgang dieses Signals, das nach Durchfahren eines lokalen Maximums oder Minimums erreicht wird, entspricht der Fugenmitte.

Befindet sich die Gasdüse nicht über der Fugenmitte, so liefert die Elektronik einen entsprechenden Stellwert zur Korrektur.

Die erfindungsgemäße Steuerung ist so ausgestaltet, daß die Spulen des Induktionsspulenpaares sowohl gleichsinnig in Serie als auch gegensinnig in Serie geschaltet werden können. Damit kann der gleiche Sensor sowohl für die Abstandskorrektur als auch für die Steuerung über der Fugenmitte eingesetzt werden.

In einer Weiterentwicklung der erfindungsgemäßen Steuerung ist das Erregerspulenpaar und das Induktionsspulenpaar in ihrer Funktion umschaltbar austauschbar. Dadurch können dann z. B. auch Schweißfugen in Richtung der Spulen 1 und 3 festgestellt werden.

Zur Verfolgung der Schweißfuge wird der Brenner zunächst über der Fugenmitte positioniert und der Lichtbogen gezündet. Dann wird die Abhängigkeit des Schweißstroms von der Lichtbogenlänge zur weiteren Steuerung genutzt. Eine Verkürzung des Lichtbogens hat einen höheren Schweißstrom zur Folge.

Mit Hilfe des Magnetsystems wird der Lichtbogen in Richtung auf die Schweißfugenränder abgelenkt. Dazu werden die Spulenpaare des Magnetsystems in Fig. 1

und 2 so geschaltet, daß zwei benachbarte Spulen gleich gepolt und die gegenüberliegenden Spulen entgegengesetzt gepolt sind. Wenn der Lichtbogenstrom bei gleicher Auslenkung des Lichtbogens in entgegengesetzte Richtungen verschieden ist, dann sind die Abstände zu den Schweißfugenflanken unterschiedlich, d.h. die Gasdüse des Schweißbrenners befindet sich nicht in der Fugenmitte. Die Steuerung liefert entsprechend einen Stellwert zur Korrektur. Wenn der Lichtbogen über die Fugenbreite abgelenkt wird, wird die Lichtbogenlänge über der Fugenmitte am größten und damit dort der Lichtbogenstrom am niedrigsten. Dieses Minimum des Lichtbogenstroms ist so ein Maß für den Abstand der Gasdüse des Schweißbrenners von der Schweißfugenmitte. Mit Hilfe der Kennlinie, die die Abhängigkeit des Lichtbogenstroms vom Abstand beschreibt, wird der Lichtbogenstrom in der nachgeschalteten Elektronik in eine Spannung umgesetzt, die zum Abstand proportional ist.

In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Steuerung können auch für diese Aufgabe verschiedene Kennlinien gespeichert werden und Sollwerte für den Abstand vorgegeben und gespeichert werden. Weicht der Istwert vom Sollwert ab, so stellt die Steuerung einen Stellwert zur Abstandskorrektur zur Verfügung.

Damit auch diese Aufgabe der Nahtverfolgung beim Schweißen mit dem gleichen Sensor überwacht werden kann, sind die Spulen in der Steuerung entsprechend umschaltbar.

In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Steuerung ist der Sensor mit mehr als vier Spulen ausgerüstet. In diesem Fall sind zwei beliebige Spulenpaare aus zwei gegenüberliegenden Spulen des Magnetsystems als Erregerspulenpaar bzw. als Induktionsspulenpaar schaltbar. Für die Überwachung der Schweißfugenverfolgung beim Schweißen wird eine beliebige Auswahl von mindestens zwei Spulen von zwei Spulenpaaren aus jeweils zwei gegenüberliegenden Spulen des Magnetsystems so geschaltet, daß die Spulen auf jeweils einer Seite einer ausgewählten Symmetrieachse der Anordnung der ausgewählten Spulen gleich und auf verschiedenen Seiten der Symmetrieachse entgegengesetzt gepolt sind. Damit der Lichtbogen senkrecht zur Schweißrichtung ausgelenkt wird, werden die Spulen so geschaltet, daß der Magnetfeldvektor in Schweißrichtung zeigt. Mehrpolige Magnetsysteme sind dabei insofern vorteilhaft, als bei einer Änderung der Schweißfuge der Schweißbrenner nicht oder zumindest weniger gedreht werden muß.



18.07.87

3723844

16

FIG.3

